

Posudek disertační práce Ing. Jana Marka “Analysis and modeling of the modern charge pump circuits”

Doc. Ing. Josef Dobeš, CSc.

23. dubna 2019

Disertační práce Ing. Jana Marka je zpracována obvyklým způsobem, jde o práci spíše kratšího rozsahu (text končí na straně 85) s dobrou úrovní zpracování.

Aktuálnost zvoleného tématu: Téma disertace je nepochybně aktuální, heslo *charge pump* najde ve Web of Science 105 článků jen za rok 2018.

Sledované cíle disertace: Poměrně stručně stanoveno v Chapter 4 (krátké dva odstavce) – vytvořit věrohodný model nábojové pumpy symbolickou charakterizací podstatných vlastností *na úrovni obvodů*, přičemž syntéza by měla probíhat v časově rozumných mezích. Hlavními sledovanými parametry je maximální napěťový zisk nábojové pumpy a co nejmenší plocha nábojové pumpy na čipu. Cíle se v podstatě podařit naplnilo, i když k způsobu zpracování mám výhrady, viz dále.

Zvolené metody zpracování: Doktorand se podle mého názoru správně zaměřil na vliv „analogového chování“ nábojových pump na *skutečné* výsledné vlastnosti obvodů, což běžné návrhové metody opomíjejí. (Obvyklé postupy se většinou snaží „co největší“ část syntézy udělat v digitální doméně – ovšem za cenu ztráty přesnosti, v krajním případě dokonce může dojít i k ohrožení věrohodnosti návrhu.)

Nesouhlasím ale s koncepcí, že podprahový režim modelu BSIM nebyl zahrnut „vzhledem k vysokonapěťové aplikaci“. Vždyť přece v každém obvodu s MOSFETy dochází k spínání a zejména v krátkokanálových tranzistorech (na rozdíl třeba od JFET) podprahové proudy MOSFET chování obvodů ovlivňují. (V jiné části textu doktorand – správně – zdůrazňuje, že prahové napětí a „body efekt“ charakteristiky obvodu dominantně ovlivňují – a s těmito fyzikálními veličinami přece podprahový režim úzce souvisí.)

K použití modelu BSIM obecně: rozvahy ohledně použitého modelu BSIM jsou v disertaci na pouhých čtyř stranách (21–24), přičemž není vlastně vysvětleno, která varianta modelu BSIM byla použita (model BSIM má celou řadu používaných variant, např. 3.3, 4.x, dnes již 6.x atd). Míra zjednodušení rovnic modelu BSIM se mi zdá až přílišná – při takovéto míře zjednodušení by možná nebylo ani nutné

model BSIM používat a vystačili bychom snad i s jednodušším modelem. (Navíc jsem tam nenašel vůbec rozvahu o eventuálním použití „evropského“ modelu EKV, který by možná – při uvedených zjednodušeních – mohl být i vhodnější alternativou.) Jinak popis Wardovy kapacity je v práci tak strohý, že i v základních skriptech nalezneme informací více. (Obtížně lze tedy objektivně posoudit vliv míry zjednodušení na přesnost modelu, zejména v jeho kapacitní části.)

Kapitolou 5 (která začíná rozvahou o výše zmíněných rovnicích BSIM) vlastně začíná popis doktorandových metod a výsledků (předcházející kapitoly jsou věnovány popisu nábojových pump obecně). Při prohlížení rovnic jsou patrné základní nedostatky doktoranda v práci s TeX (LaTeX). Vezměme např. hned rovnici (5.1), kde levá strana měla být správně zapsána jako L_{eff} a ne L_{eff} (tj. opravdu velmi špatným způsobem, v tomto případě bylo potřeba pro index použít `\mathrm{}` či TeX analogii). I použití matematických značek není jednotné, např. opět na straně 21 vidíme v prvním odstavci symbol pro „mnohem větší než“ \gg , zatímco v (5.1) je to (už správně) \ggg – a takových nedostatků v LaTeX podobného typu jsou v textu *stovky*. Myslím tedy, že text by měl být zpracován mnohem pečlivěji – už např. na obálce je špatně “DISERTATION”, mělo být “DISSERTATION”...

Kvalita obrázků je proměnlivá, některé jsou zpracovány řádně jako vektorová grafika, některé jsou však bitmapy – a rozdíly mezi těmito obrázky jsou na první pohled vidět už v tištěné verzi disertace, ale především pak při zobrazení pdf souboru na monitoru s velkým (4k) rozlišením. Velmi podivný se mi také jeví reklamní nápis „ASICentrum“ uprostřed stránky 95 (součást obrázku D.1) – pokud jde o převzatý obrázek, měl by text být doprovázený nějakým souhlasem firmy. (Přestože jde o Appendix, nelze firemní obrázky bez souhlasu vlastníka v textu „jen tak volně“ volně uvádět.)

Angličtina je na vyhovující úrovni jen s velmi mírnými chybami, např. nesprávně použitými uvozovkami “diode” namísto správného “diode” apod.

Zhodnocení výsledků disertace, nové poznatky: Na základě souboru odvozených vztahů a vytvořených algoritmických postupů (optimalizovaného) návrhu lze s rozumnou mírou pravděpodobnosti odhadnout potřebný řád obvodu (“no. of stages”) včetně navržených rozměrů použitých MOSFET (“sizing”) – toto lze asi považovat za největší přínos disertace. V disertaci jsem však nenalezl žádné experimentální potvrzení aplikace odvozených principů – představoval bych si to tak, že na základě odvozených vztahů se navrhne optimalizovaný obvod (jenž by podle záměru disertace měl např. nižší řád pro stejnou funkci obvodu než jiná známá řešení v literatuře, s kterými probíhá srovnání), ten se ale pak také – byť třeba jen v nějaké testovací verzi, testovacím čipem apod. – realizuje a *změří*. Nicméně to, co se v disertaci nazývá “Experimental part” (např. 6.2.4) je pak doprovázeno tabulkou “Simulation results” (např. Table 6.8). Chápat by se to snad dalo tak, že použití analytických vztahů odvozených při výše uvedeném (velmi silném) zjednodušení modelu MOSFET se pak ověřuje simulátorem (ELDO), v kterém byl

iniciovaný přesnější model MOSFET (případně dalších použitých prvků). Toto samozřejmě přináší určitou míru ověření procesu návrhu, nicméně měření to určitě nahradit nemůže: z vlastních zkušeností z návrhu nelineárních mikrovlnných obvodů vím, jaké rozmanité a překvapivé jevy se u měření mohou objevit – a někdy to základní činnost obvodu neovlivní, avšak v některých případech to musí vést k úplně novému softwarovému návrhu, a to někdy i opakovaně. Jinak výsledky ELDO v porovnání s analytickým řešením jsou v slušné shodě, odchylky takového typu jako je obrázek 6.17 jsou podle mých zkušeností obvyklé. Někde však jsou zjevné principiální odchylky způsobené příliš zjednodušenými modely (viz výše), jak to jasně můžeme pozorovat např. na obrázku 6.19 vpravo.

Zhodnocení publikační činnosti: Web of Science (k 10. 4. 2019) registruje dva články v impaktovaných časopisech (v obou je Ing. Marek prvním autorem), a to v Radioengineering (2017 IF 1,048) a Journal of electrical engineering–Elektrotechnický časopis (2018 IF 0,508). Web of Science dále registruje (opět k 10. 4. 2019) tři konferenční příspěvky Ing. Marka, všechny tři na plzeňské konferenci International Conference on Applied Electronics. Tato publikační aktivita formálně vyhovuje předepsaným kritériím (oba časopisy jsou sice v Q4, nicméně Q3 je požadován pro nověji nastoupené doktorandy), nicméně jde zde spíše o podprůměr, zejména s přihlédnutím k faktu, že se všechny publikace uskutečnily pouze v česko-slovenském prostoru (tuto věc by bylo dobré při obhajobě vysvětlit).

Pokud se týká citací ve Web of Science, našel jsem (k 10. 4. 2019) čtyři, ve všech případech se ovšem jedná o autocitace. (Stejně tomu je v i v Scopus.)

Práce obsahuje některé nové poznatky, řada odvozených vzorců a pravidel může být podle mého názoru pro optimalizovaný návrh nábojových pump prospěšná. Doktorand prokázal, že je schopen rozvíjet daný vědní obor. I když vzhledem k celé řadě výše uvedených námitek a připomínek považuji disertační práci Ing. Marka za spíše podprůměrnou, vzhledem k užitečné sérii odvozených vztahů ji

doporučuji k obhajobě,

při obhajobě nicméně **žádám zodpovězení následujících otázek:**

- Prosím vysvětlíte jasně, kterou verzi modelu BSIM jste použil (a proč) a co Vás vedlo k použití podle mne až příliš zjednodušených rovnic modelu.
- Nedal se realizovat *skutečný* experiment k ověření odvozených vztahů?
- Proč se doktorand omezil na publikace jen v česko-slovenském prostoru? (I kdyby neměl k dispozici žádný grant, dnes přece navštívit alespoň okolní země jako je např. Německo nebo Rakousko na konferenci by neměl být žádný problém. I řada předních zahraničních časopisů je bez poplatku.)
- Proč byl v práci tak často špatně používán TeX/LaTeX?

V Praze dne 23. dubna 2019

Josef Dobeš